

Bereits kurz nach der Entdeckung waren Überlegungen zu Möglichkeiten der Nutzung der bei der Spaltung frei werdenden Energie angestellt worden.

Mit dem Beginn des Zweiten Weltkrieges stellte sich jedoch mehr die Frage nach dem militärischen Einsatz dieser neuen Energiequelle. So hatte dann auch die erste „Anwendung“ der Kernspaltung – der Abwurf der Atombomben auf die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki im Jahr 1945 – verheerende Auswirkungen. Etwa 70 000 Menschen kamen dabei sofort ums Leben, weitere 130 000 starben in den nächsten Tagen, Jahren und Jahrzehnten an den Folgen.



Trinity-Test: die erste Atombombenexplosion des US-Militärs am 16. Juli 1945

Kernenergie

Energie des Atomkerns. Im Laufe der Entstehung unseres Sonnensystems sind Atomkerne durch Verschmelzung von Protonen und Neutronen entstanden. Addiert man die Einzelmassen der Kernbausteine und vergleicht sie mit der Masse des Kerns, so stellt man fest: Atomkerne sind immer leichter als die Summe ihrer Bestandteile (Bild 3). Diese Erscheinung nennt man *Massendefekt*.

Der Massendefekt stellt scheinbar eine Verletzung des Gesetzes von der Erhaltung der Masse dar, welches besagt, dass in allen Prozessen die Summe der Massen der beteiligten Teilchen erhalten bleibt. Die Lösung für diesen Widerspruch fand ALBERT EINSTEIN 1905 mit der Beziehung $E=m \cdot c^2$. Vereinfacht kann man sagen, dass Energie und Masse ineinander umgewandelt werden können.

Angewendet auf den Atomkern bedeutet das: Beim Zusammenschluss der Kernbausteine wird ein Teil ihrer Masse in Energie umgewandelt.

Will man einen solchen Kern wieder in seine Kernbausteine zerlegen, muss genau diese Energie aufgewendet werden. Man bezeichnet daher diese Energie als *Kernbindungsenergie*.

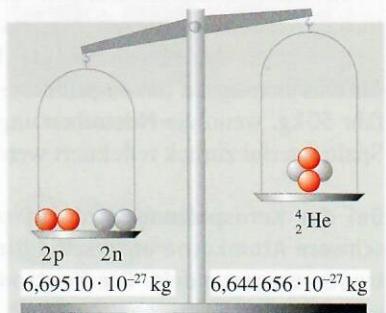


Atombombenexplosion am 9. August 1945 in Nagasaki

Kernenergie bei der Kernspaltung. Bei jeder Kernspaltung ist die Gesamtmasse der Spaltprodukte und der Neutronen danach kleiner als die Gesamtmasse von Kern und Neutron vor der Spaltung. Es ergibt sich also auch bei der Kernspaltung ein Massendefekt.

Ein Gramm Uran-235 besteht aus etwa $2,6 \cdot 10^{26}$ Atomkernen. Bei der vollständigen Spaltung aller dieser Atomkerne wird etwa so viel Energie frei wie beim Verbrennen von 2500 kg Steinkohle.

Mit dieser Energie bewegen sich die Spaltprodukte und die freigesetzten Neutronen sehr schnell. Sie geben ihre Energie bei Zusammenstößen mit anderen Teilchen ab. Kinetische Energie wird somit in thermische Energie der Umgebung umgewandelt. Die entstehende Gammastrahlung ist ebenfalls Träger von Energie.



Massendefekt des Heliumatomkerns

► **Bei der Verbindung der Nukleonen zum Atomkern wird Kernbindungsenergie frei.**

Bei der Kernspaltung kann ein Teil der Kernbindungsenergie als Kernenergie u.a. in Form von Wärme und Gammastrahlung freigesetzt werden.

Kernreaktoren

Kernreaktoren dienen den Wissenschaftlern zu Forschungszwecken. In Kernkraftwerken werden sie verwendet, um aus der Kernenergie elektrische Energie zu gewinnen.

In Kernreaktoren können unter folgenden Bedingungen gesteuerte Kettenreaktionen ablaufen:

Spaltbares Material. Der Anteil von spaltbarem Uran-235 im natürlichen Uran beträgt nur ungefähr 0,7 %. Die Neutronen treffen deshalb im natürlichen Uran nur sehr selten auf spaltbare Kerne. Es wird ein Anteil von etwa 2 % bis 4 % Uran-235 benötigt. Die Anreicherung erfolgt durch chemische Verfahren in Urananreicherungsanlagen.

Das spaltbare Material wird in Tablettenform als Urandioxid (UO_2) in Brennstoffstäbe gebracht. Etwa 100 Brennstoffstäbe ergeben zusammen gefasst ein Brennelement (Bild 1).

„Langsame“ Neutronen. Neutronen, die bei der Kernspaltung entstehen, haben eine große kinetische Energie. Mit ihrer Geschwindigkeit von ungefähr 2000 km/s sind sie viel zu schnell, um einen Kern spalten zu können.

Durch ein geeignetes Bremsmittel, den *Moderator*, muss die Geschwindigkeit auf etwa 2 km/s verringert werden.

Die Neutronen geben bei Zusammenstößen mit den Atomkernen des Moderators einen Teil ihrer Energie ab. Die nun „langsam“ Neutronen können Spaltungen auslösen. Meistens wird Wasser oder Graphit als Moderator verwendet.

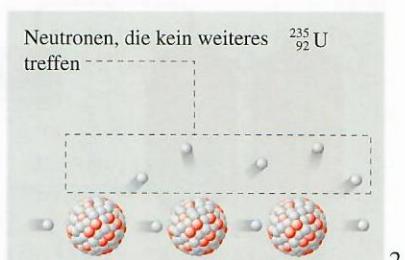
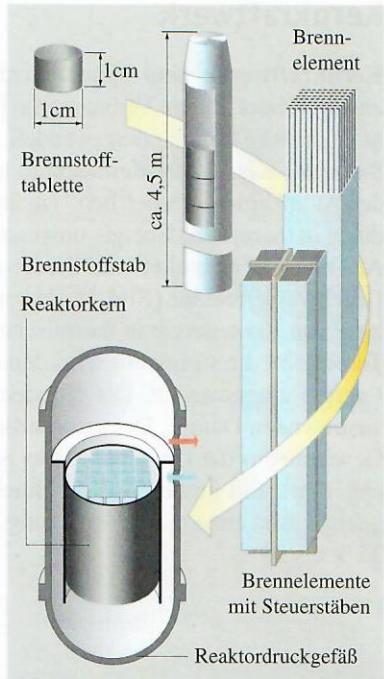
Kritische Masse. Damit die „langsam“ Neutronen wirksam werden und die Kernspaltungen kontinuierlich ablaufen können, muss eine Mindestmasse an spaltbarem Material (kritische Masse) vorhanden sein.

„Einfang“ von Neutronen. In einem Kernreaktor muss eine gesteuerte Kettenreaktion ablaufen. Dem Prozess werden immer so viele Neutronen entzogen, dass nur durchschnittlich ein weiterer Kern gespalten wird. Der freigesetzte Energiebetrag kann so kontrolliert werden. Dazu befinden sich in einem Reaktor Steuerstäbe z.B. aus Bor oder Cadmium (Bild 3). Diese Stoffe können Neutronen gut absorbieren.

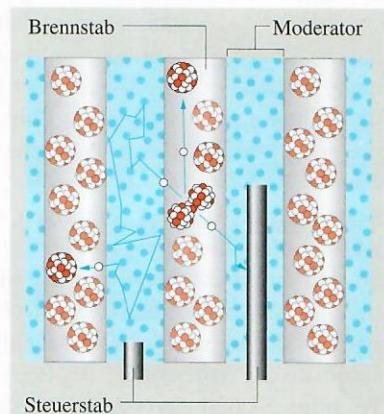
Die Steuerstäbe werden nach Bedarf durch Regeleinrichtungen mehr oder weniger tief in den Reaktorkern eingefahren.

Durch vollständiges Einfahren der Steuerstäbe zwischen die Brennstäbe, hört die Kettenreaktion ganz auf. Der Reaktor kann so innerhalb kürzester Zeit abgeschaltet werden.

Energieumwandlung. Die frei gewordene Kernenergie wird zunächst in kinetische Energie der Spaltprodukte umgewandelt. Diese versetzen die sie umgebenden Atomkerne in heftige Schwingungen. Die Kernenergie wurde in thermische Energie umgewandelt. Die Temperatur im Brennstab steigt auf etwa 800 °C. In einem Kühlssystem kann diese Energie durch Wechselwirkung z.B. mit Wasser als thermische Energie abtransportiert werden.



Kontrollierte Kettenreaktion: Von den durchschnittlich 2,5 Neutronen, die bei einer Spaltung frei werden, führt genau ein Neutron zu einer weiteren Spaltung.



Steuerstäbe zur Regelung des Reaktors